

PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS DE ACERO FRENTE A LA CORROSIÓN

---

# Cómo proteger las estructuras de acero frente a la corrosión en parques eólicos

16/07/2020

---

# Ensayos de Pintura: Cómo incrementar la probabilidad de superar los test de corrosión

## Índice

---

1. Introducción	03
2. ISO 12944	19
3. Optimización programa de mantenimiento anticorrosivo	24

## Factores que afectan a la agresividad del medio

- Corrosión
- Erosión
- Impacto
- Abrasión
- Degradación por UV
- Temperaturas extremas y ciclos de  $T^a$
- Corrosión-fatiga
- Biofouling
- MIC (Microbially induced corrosion)

} *Offshore*



*Corrosión en un monopile en offshore*

## Zonas basadas en el tipo de ambiente

- Zona enterrada (Im3)
- Zona en inmersión (offshore). Con o sin protección catódica (Im2/Im4)
- Zona splash o Tidal (offshore) (CX+Im4)
- Zona atmosférica (C3,C4,C5,CX)

### Tipos de corrosión presentes

Corrosión generalizada, pitting, crevice, corrosión galvánica, SCC, MIC, erosión-corrosión, corrosión-fatiga.



*Ejemplo de un aerogenerador offshore*

# Corrosividad onshore vs offshore



Parque eólico onshore

ONSHORE	OFFSHORE
Corrosividad media-alta C3-C4-C5	Corrosividad extrema CX/Im4
Durabilidad alta-muy alta (15-25 años)	Durabilidad muy alta (>25 años)
Pérdida espesor acero al carbono 25-200 $\mu\text{m}/\text{año}$	Pérdida espesor acero al carbono 200-700 $\mu\text{m}/\text{año}$
Espesor mínimo normativo de pintura <sup>(1)</sup> C3H: 160 $\mu\text{m}$ C4H: 200 $\mu\text{m}$ C5H: 260 $\mu\text{m}$	Espesor mínimo normativo de pintura CX (Atmosférico): 280 $\mu\text{m}$ CX+Im4 (zona splash y tidal): 450 $\mu\text{m}$ Im4 (inmersión con PC): 350-800 $\mu\text{m}$

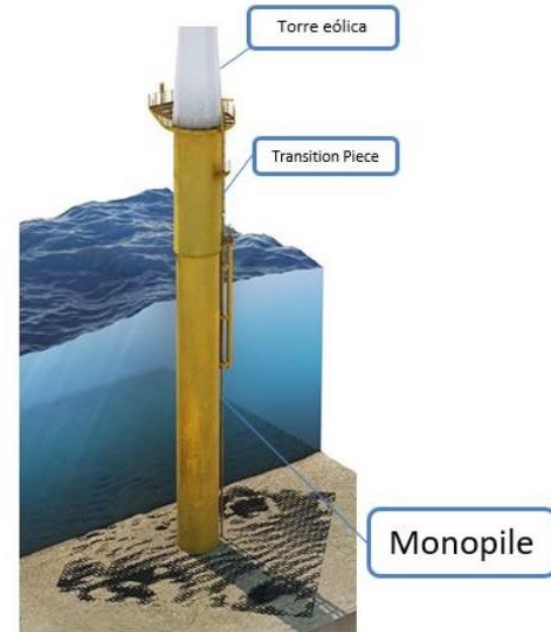
Parque eólico offshore (Wikingen)



(1). Espesores mínimos normativos con imprimación de Zn según ISO 12944-5:2018

## Elementos comunes de un aerogenerador que sufren problemas de corrosión

- Estructura de cimentación
  - Torre
  - Monopile
  - Transition Piece
- Palas
- Nacelle
- Bridas, virolas
- Buje
- Estructuras secundarias: Boat landing, escaleras de acceso, etc.



## Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores.

- ISO 12944-1:2017 Introducción general
- ISO 12944-2:2017 Clasificación de ambientes
- ISO 12944-3:2017 Consideraciones sobre el diseño
- ISO 12944-4:2017 Tipos y preparación de superficies
- ISO 12944-5:2019 Sistemas de pintura protectores
- ISO 12944-6:2018 Ensayos de comportamiento en laboratorio
- ISO 12944-7:2017 Ejecución y supervisión de trabajos de pintado
- ISO 12944-8:2017 Desarrollo de especificaciones para trabajos nuevos y de mantenimiento
- ISO 12944-9:2018 Protective paint systems and laboratory performance test methods for offshore and related structures

[https://www.youtube.com/results?search\\_query=corrosion+tecnalia](https://www.youtube.com/results?search_query=corrosion+tecnalia)

## Alcance de la norma ISO 12944

### No se contempla protección frente a:

- Microorganismos
- Agentes químicos  
(disolventes, ácidos, etc.)
- Acciones mecánicas  
(erosión, abrasión, etc.)
- Fuego

### DURABILIDAD:

*“Tiempo de vida esperado para un sistema protector de pintura hasta su primer repintado general”*

La Durabilidad debe ser demostrada por la experiencia y/o ensayos de Laboratorio (ISO 12944-6/9)

**Durabilidad ≠ Garantía**



## Categorías de corrosividad y durabilidad

### Rangos de Durabilidad

Baja (hasta 7 años)

Media (7-15 años)

Alta (15-25) años

**Muy Alta > 25 años**

**Elección sistema =  
= f (Durabilidad, corrosividad)**

### Categorías de Corrosividad

C1-Muy baja corrosividad

C2-Baja corrosividad

C3-Media corrosividad

C4-Alta corrosividad

**C5-Muy alta corrosividad**

**CX-Extrema corrosividad**

Im1- Agua dulce

Im2- Agua de mar sin Protección Catódica

Im3- Suelos

**Im4-Agua de mar con Protección Catódica**

## Cómo seleccionar el sistema de pintura adecuado

1. **Definir tipo de sustrato a proteger y si se trata de obra nueva o de mantenimiento.**
2. **Determinar la categoría de corrosividad** del ambiente (macroclima) donde se localizará la estructura.
3. **Determinar las condiciones especiales** (microclima) que pueden generar una categoría de corrosividad mayor.
4. **Establecer la vida útil esperada o requerida del recubrimiento (DURABILIDAD)**
5. **Selección del sistema de pintura: ISO 12944-5.**
  - 3.1. Seleccionar la tabla adecuada en función de la categoría de corrosividad
  - 3.2. Seleccionar el sistema de pintura óptimo en función de la preparación de la superficie que se empleará.
6. **Consultar con fabricantes de pintura para determinar qué sistemas de pintura comercialmente disponibles corresponden al sistema de pintura seleccionado.**

## Cómo seleccionar el sistema de pintura adecuado

### ISO 12944-5. Sistemas de pintura protectores

Tabla 4. N<sup>o</sup> mínimo de capas **(MNOC)** y **NDFT** de sistemas de pintura en función de la durabilidad y categoría de corrosividad [6]

Durability	Low (l)			Medium (m)			High (h)			Very high (vh)			
	Zn (R)	Misc.		Zn (R)	Misc.		Zn (R)	Misc.		Zn (R)	Misc.		
Type of primer	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	
Binder base of primer	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	
Binder base of subsequent coats	EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	
C2	MNOC	a		—	—	1	1	1	1	2	2	2	
	NDFT	a		—	—	100	60	120	160	160	180	200	
C3	MNOC	—	—	1	1	1	2	2	2	2	2	2	
	NDFT	—	—	100	60	120	160	160	180	200	200	240	260
C4	MNOC	1	1	1	2	2	2	2	2	3	2	—	
	NDFT	60	120	160	160	180	200	200	240	260	260	300	—
C5	MNOC	2	2	—	2	2	—	3	2	—	3	3	—
	NDFT	160	180	—	200	240	—	260	300	—	320	360	—

**Anexo B.  
NORMATIVO**

## Cómo seleccionar el sistema de pintura adecuado

*Tabla 5.  
Ejemplos de sistemas de pintura para un C5*

System No.	Priming coat				Subsequent coat(s)	Paint system		Durability			
	Binder type	Type of primer	No. of coats	NDFT in $\mu\text{m}$	Binder type	Total no. of coats	NDFT in $\mu\text{m}$	l	m	h	vh
C5.01	EP, PUR, ESI	Misc.	1	80 to 160	EP, PUR, AY	2	180	X			
C5.02	EP, PUR, ESI	Misc.	1	80 to 160	EP, PUR, AY	2-3	240	X	X		
C5.03	EP, PUR, ESI	Misc.	1	80 to 240	EP, PUR, AY	2-4	300	X	X	X	
C5.04	EP, PUR, ESI	Misc.	1	80 to 200	EP, PUR, AY	3-4	360	X	X	X	X
C5.05	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 to 80	EP, PUR, AY	2	160	X			
C5.06	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 to 80	EP, PUR, AY	2-3	200	X	X		
C5.07	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 to 80	EP, PUR, AY	3-4	260	X	X	X	
C5.08	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 to 80	EP, PUR, AY	3-4	320	X	X	X	X

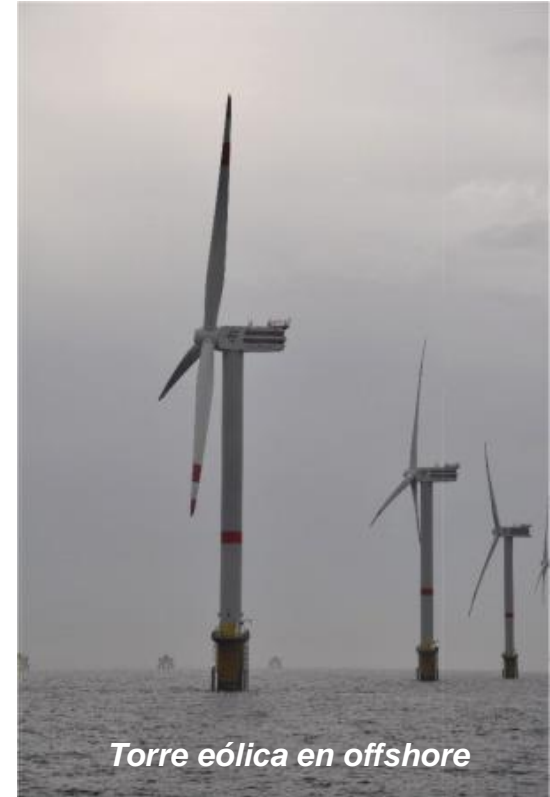
## Boat landing

- Corrosión extrema: zona splash CX +Im4
- Abrasión
- Impacto (barcos)
- Biofouling



## Soluciones para Boat landing

- Recubrimiento de cloropreno: Alta resistencia mecánica, O<sub>2</sub>, UV
- Poliurea: Alta resiliencia. Alta absorción de impacto. Resistente a humedad, cura a < 0°C
- Recubrimiento Cerámico: Resistente a la abrasión e impacto. Preparación de superficie SSPC-SP6/NACE3. Secado 15 min. Más resistente a fouling que otros recubrimientos por el carácter alcalino de la capa
- TSA+ Epoxi Poliamina + PU alifático
- Epoxi glass flake



*Torre eólica en offshore*

## Componentes eléctricos para turbinas eólicas. Armarios eléctricos



*Componentes eléctricos para sector eólico.  
Imagen: Ingeteam*

- No hay normativa específica .
- Se suele aplicar la norma ISO 12944 a pesar de:
  - No es acero al carbono.
  - No es acero estructural de acuerdo a la norma EN 10025-1 and EN 10025-2.
  - Espesor del acero es inferior a 3 mm.
  - No se puede granallar hasta Sa 2 $\frac{1}{2}$ .
  - No se cumplen los espesores nominales de la norma ISO 12944-5.

## Componentes eléctricos para turbinas eólicas. Armarios eléctricos

- Material acero inoxidable, acero galvanizado, etc.
- Categoría corrosividad exigida generalmente
  - C4H Interiores
  - C5H Exteriores
- En el caso de exteriores (C5H) se recomienda aplicar un tratamiento previo (fosfatado u otro)
- Especificación ensayos de laboratorio según ISO 12944-6
- Especificación según cliente de color y brillo tras ensayos de corrosión





## Secuencia típica de pintado y mantenimiento

1. Pintado inicial
2. Retoque por zonas (TOUCH UP): reparación puntual de las zonas corroídas (alarga un 30-50 % la durabilidad del recubrimiento)
3. Retoque por zonas (TOUCH UP) + overcoating: Reparación puntual de zonas corroídas + capa adicional de acabado (alarga un 50-75 % la durabilidad del recubrimiento).
4. Repintado completo



## Estimación coste de pintado. SSPC-TU 9

*Tabla 6. Comparación coste de pintado de 2 sistemas de pintura de protección*

Sistemas de Pintura	Coste pintado inicial y tiempo de vida	Coste pintado de mantenimiento y tiempo de vida	Coste para una durabilidad de 15 años	Coste estimado en m <sup>2</sup> /año a 15 años
Sistema A Pintura alquídica (2 capas)	6,24 €/m <sup>2</sup> 7 años	5,27 €/m <sup>2</sup> 4 años	6,24+5,27+5,27 = 16,78 €/m <sup>2</sup>	1,12 €/m <sup>2</sup> /año
Sistema B 3 capas epoxi con base Zn inorgánico	12,38 €/m <sup>2</sup> 15 años	11,63 €/m <sup>2</sup> 9 años	12,38 €/m <sup>2</sup>	0,83 €/m <sup>2</sup> /año

*SSPC-TU 9 Estimating Costs for Protective Coatings Projects*

ESKERRIK ASKO  
GRACIAS  
THANK YOU  
MERCI



Más información y contacto:

Raúl Caracena ([raul.caracena@tecnalia.com](mailto:raul.caracena@tecnalia.com)) · +34 647 402 341

<https://www.linkedin.com/in/corrosionengineering-tecnalia/>

[blogs.tecnalia.com](https://blogs.tecnalia.com)



[www.tecnalia.com](https://www.tecnalia.com)